

高密度磁気記録における記録再生特性と磁化の熱安定性に関する研究

田中, 輝光

<https://doi.org/10.15017/1398259>

出版情報 : 九州芸術工科大学, 2002, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第 1 章

序論

現在の高度情報化社会を担う 3 つの要素は、コンピュータに代表される“情報処理”，“情報通信”，そして“情報蓄積”である。3 つめの“情報蓄積”は，大量の情報を記録でき，しかも必要な情報をより早く正確に取り出すことのできるシステムを必要とする。現在では，この情報蓄積の役割を主に磁気記録技術が担っている。これは，磁気記録以外の記録技術として，半導体や光などがあるが，低コスト・大容量性・高速性を兼ね備える点で磁気記録に代わるものがないためである。

磁気記録は 1898 年，デンマークの Valdemer Paulsen が発明した鋼線式磁気録音機で初めて採用された。1928 年には Plueumer によって初めて磁性紛塗布テープが作られた。その後，1938 年に永井健三らによって AC バイアスの実験が行われ，1971 年に R. P. Hunt によって現在ハードディスクの再生ヘッドとして用いられている GMR ヘッドの原型である MR (Magneto Resistive) ヘッドが発明された。

磁気記録の特徴はヘッド・媒体間の相対運動による信号取得，微小な永久磁石で情報を記憶することによる永久保存性と情報更新性である。相対運動が必須であることからアクセス速度に制限があるもののシーケンシャルな情報記憶には適しており，音声，画像などの記憶用にテープレコーダが発達した，情報処理の分野でも，ある情報単位でのファイル記憶の分野に適しておりコンピュータの補助記憶装置に代表される磁気ディスクや磁気ドラムなどが開発された。

現在のコンピュータの補助記憶装置であるハードディスクドライブでは面記録密度の上昇を第一の課題としている。これまで，高面記録密度化のための研究がなされてきており，それにより高密度化が可能になったが，高感度 MR ヘッドや，既知の符号間干渉を意図的に取り入れ最尤複号法と組合わせた PRML[1]と呼ばれる信号処理方式の適用によって記録の高密度化が一気に加速された。そのせいもあって近年ではハードディスクの面記録密度は年率およそ 60～100%の伸びを示しており，現在では 100 Gbits/sq.inch という高密度化が達成されている[2]。

面記録密度の向上には様々な要因があり，代表的なものとしてヘッドや記録媒体の磁気特性，記録媒体の表面性，サーボ系，信号処理系の改善などが挙げられる。ハードディスクでは，記録分解能を上げるために記録媒体である磁性層の薄膜化，低スペーシングでの記録再生を行うためのディスク表面の平滑性確保，ノイズ低減のため磁性層厚の均一性確保など，記録・再生特性改善のために様々な技術が必要

となる。また、記録・再生ヘッド関連では低スペーシングで浮上姿勢を保つスライダの設計、トラッキング精度向上のためのサーボ技術、高速記録・再生のためのヘッド材料・ヘッドコイルの高周波特性改善や記録再生アンプの応答速度の向上などである。面記録密度 100 Gbits/sq.inch が達成されたのはこれらの様々な分野の研究の結果による。

記録密度を上げるにはヘッドと媒体間の磁気的なスペーシング量を小さくする必要がある。磁気ディスクにおいてヘッドの浮上量は、1980年代にはおよそ 500nm、1990年頃には 125~200nm、現在ではおよそ 20nm となっている。現在では高感度の GMR ヘッドが使用されているが、20nm という小さな浮上量では、ディスク表面の凹凸により、ヘッドがディスクと接触することがある。これにより、thermal asperity などによるノイズの影響が現れ始めた。そこで、現在では半導体のトンネル効果を利用した TMR (Tunnel Magneto Resistive) ヘッドの開発が盛んに行われている。この TMR ヘッドは高感度で thermal asperity の影響を受けにくいという特徴があるが、反応速度が幾分遅いという不具合も持ち合わせている。ハードディスクドライブではアクセス速度や記録・再生速度の向上のためディスクの回転速度が大きくなりつつある。そのため TMR ヘッドは、この反応速度の改善が必要であり、また、現在ではかなり改善されてはいるが未だ実用には至っていない。

以前の薄膜ヘッド再生では、十分な再生出力を得るためには狭トラック化が困難であったが、非常に感度が高い磁気抵抗効果型ヘッドの開発により、狭トラック化が更に進められることになった。現在では、広いトラックを記録し、そのうちの最も記録特性の良いトラック中央部を再生する方式がとられている。このような広トラック記録・狭トラック再生方式では記録トラックエッジは再生に寄与しない部分であり、第2章で述べる記録能力と再生能力の関係から高トラック密度化が進むにつれて記録トラックエッジ領域の占める割合は大きくなりつつある。しかし、高感度再生ヘッドを用いても再生トラック幅が狭くなれば再生出力は低下する。このような背景から、いずれは再生出力を十分に得るために、再生ヘッド幅を小さくせず、記録トラック幅に近づける“狭トラック記録・再生”になると予想される。

磁気記録媒体の高密度記録性能は $H_J/(B_r\delta)$ の大きさに比例する。ここで、 H_c は媒体保磁力、 B_r は残留磁束密度、 δ は磁性層の厚みである。ここで、 $B_r\delta$ は減磁界の大

きさを表し、 H_c は減磁界に対する強さを表すと考えることができる。このことから、高記録密度化を行うには記録媒体の保磁力を大きくし、残留磁束密度を小さく、磁性層を薄くすることが必要であると言うことができ、実際にそのように改良されている。しかし、高保磁力化[4]については記録ヘッドの性能を考慮した上で行わなければならない。その理由は記録ヘッドに十分な記録能力が備わっていなければ媒体を磁化し、情報を記録することができないからである。近年では逢坂らによって 2T (テスラ) 以上の飽和磁束密度を持つ記録ヘッド材料が開発されており[3]、実用化されれば更なる高密度化が可能である。しかし、高トラック密度化の観点から考えると、ヘッドの飽和磁束密度の向上だけでなく、第3章で述べる記録ヘッドフリンジ磁界の広がりや第4章で述べる記録ヘッドの磁極形状も考慮しなければ更なる高密度化は難しいと考えられる。残留磁束密度と磁性層の厚みについては、従来の電磁誘導型薄膜ヘッドでは再生出力を得るために大きな $B_r \delta$ が必要であった。しかし、高感度の MR ヘッドおよび GMR ヘッドの開発により、それらを小さくすることが可能となった。また、磁性層の薄膜化は記録の高分解能化、低ノイズ化の効果があり、現在では十数 nm のオーダーとなっている。長手記録媒体では線記録密度が上昇すると、磁化転移に強い減磁界が働き、その結果、残留磁化が減少し、出力が低下する。この減磁界の作用は岩崎らにより詳しく解析されており、磁性層の厚いものでは、減磁界の影響により、残留磁化が低下するだけでなく、媒体内で磁化ベクトルが閉じてしまう回転磁化モードが形成され、再生出力が低下することを示している[5][6]。薄膜化、高保磁力化はこの減磁界の影響を軽減することが1つの目的となっており、回転磁化モードの発生を抑える効果もある。また、薄膜化および残留磁化の低減により、低ノイズ化が進められた。

長手記録における S/N は(1.1)式のように考えることができる[7]。

$$S/N \propto PW_{50}W / (Dd^2s) \quad (1.1)$$

ここで、 PW_{50} はパルス幅、 W はトラック幅、 D は線密度、 d は粒子寸法、 s はトラック幅方向相関長である。(1.1)式からわかるように、S/N の改善には、記録媒体では粒子寸法の微細化が挙げられる。また、この粒子寸法の微細化は PW_{50} を小さくすることにもつながる。

このように記録媒体の薄膜化、磁性粒子の微細化は面記録密度を向上する上で必

須となる。しかし、現在の記録媒体から薄膜化、微粒子化が更に進むと、それによって磁性粒子または、最小磁化単位となる磁化クラスタのもつ磁気エネルギーが熱エネルギーに比べて十分に大きくないため、記録磁化が時間とともに減衰してしまう現象が顕著になると考えられる[8]。これは上述した磁気記録技術の特徴の 1 つである“半永久的に情報を保存する”ということができなくなることを意味する。

そこで、本研究は、高トラック密度化の際に問題となるトラックエッジの記録特性の解析を行い、そのトラックエッジの記録特性改善のための条件を明らかにすること、そして、微粒子化された記録媒体における磁化の熱安定性の評価を行い、熱安定性の観点から微粒子媒体の設計指針を明らかにすることを目的としている。

本論文の第 2 章では第 3 章と第 4 章で必要となる概念について簡単に解説する。第 3 章では高トラック密度化の際に障害となる記録ヘッドフリンジ磁界、記録にじみおよび再生にじみについて、その性質を解析し、線密度依存性について述べる。第 4 章では、記録ヘッドフリンジ磁界、記録にじみのヘッド磁極形状依存性について、ヘッド磁極形状が高トラック密度化に関して非常に重要であることを述べる。また、これまで磁気力顕微鏡などで観察されていた記録トラック幅を再生出力の測定から推定できることを示す。

磁化の熱安定性の評価を行うにあたり、連続薄膜媒体であるハードディスクは磁化を安定させるための反強磁性層や、減磁界低減のための軟磁性膜など様々な磁性層があり、また、それらの層間の交換結合などが存在するため、記録層の熱安定性の解析が困難となる。そこで、本研究では粒子の磁氣的な孤立性が比較的高いテープ媒体を用いて、磁化の熱安定性の評価・解析を行う。本論文では、磁化の熱安定性について、現在用いられている微粒子よりも更に微細化された超微粒子からなるサンプルを用いて、記録特性を評価した後、粒子寸法と磁化の熱安定性の関係について検討する。第 5 章では、記録密度特性から計算によって超微粒子記録媒体が非常に高い記録分解能を有することを示す。また、そのような超微粒子媒体の熱安定性について粒子間相互作用を考慮に入れて評価する。第 6 章では超微粒子からなる粒子配向の異なるサンプルを用いて粒子間相互作用の違い、更に粒子間相互作用が磁化の熱安定性に与える影響について、異なる磁界中での熱安定性について検討する。第 7 章では、磁化の熱安定性の指標を、全ての磁気特性を含めて推定できる

第 1 章 序論

Sweep Rate 法により推定し，評価する．さらに，Sweep Rate 法により得られる推定結果を用いて，超微粒子記録媒体が実際の記録時に示すと考えられる実効的な磁気特性に関して検討する．第 8 章で本論文の結論を述べる．